

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Bakalářská práce**

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky**

**Analýza DC/AC měničů**  
**DC/AC converter analysis**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Horák**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika  
Téma: Analýza DC/AC měničů  
DC/AC Converter Analysis

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši komerčně dostupných DC/AC měničů s ohledem na možné typy zátěží.
2. Proved'te popis funkce a regulačních schopností vybraných typů měničů.
3. Na vybraných měničích proved'te měření důležitých veličin dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

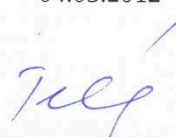
Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

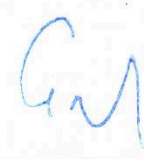
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne 4. května 2012 ..... *Horník* .....

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Palackému, Ph. D. za pomoc při měření a cenné rady ke zpracování méji bakalářské práce.

V Ostravě dne: 4. května 2012 ..... *Horník* .....

## **Abstrakt**

Bakalářská práce pojednává o DC/AC měničích. Je v ní uvedeno jejich základní rozdělení podle několika hledisek a také stručný popis několika měničů. Samostatnou část práce tvoří základní rozdělení UPS měničů. Dále je práce zaměřena na analýzu mnou vybraného měniče. U tohoto měniče je popsána regulace výstupního napětí v závislosti na jeho zatížení. Práce obsahuje i několik měření provedených s tímto měničem.

## **Abstract**

The Bachelor work discuss DC/AC converters. It contains their basic distribution from several aspects and also a short description of a couple of them. A separate part of the work is the basic distribution of UPS converters. Further is the work focused on converter selected by myself. At this converter has been described a regulation of output voltage depending on its load. The work also contains a few measurement made by this converter.

## **Klíčová slova**

DC/AC měnič

UPS měnič

Akumulátor

Generátor pulsů

## **Key word's**

DC / AC converter

UPS converter

Accumulator

pulse Generator

## Seznam použitých symbolů a zkratek

AC	-	Střídavé napětí
A/D	-	Analogově digitální převodník
AKO	-	Astabilní klopný obvod
C	-	Kapacita [F]
DC	-	Stejnoseměrné napětí
DSC	-	Digitální signálový kontrolér
f	-	Frekvence [Hz]
I, i	-	Proud [A]
IO	-	Integrovaný obvod
L	-	Indukčnost [H]
M	-	Moment motoru [Nm]
MKO	-	Monostabilní klopný obvod
n	-	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]
PWM	-	Pulsně šířková modulace
R	-	Odpor [ $\Omega$ ]
S	-	Spínač
t	-	Čas [s]
U, u	-	Napětí [V]
UPS	-	Nepřerušitelný zdroj energie

# Obsah

1	Úvod .....	- 1 -
2	Zpracování rešerše komerčně dostupných DC/AC měničů s ohledem na možné typy zátěží.....	- 2 -
2.1	Popis měniče.....	- 2 -
2.2	Použití měničů.....	- 2 -
2.3	Rozdělení měničů .....	- 2 -
2.4	Výběr vhodného měniče s ohledem na zátěž.....	- 5 -
2.5	Popis analogového měniče s časovačem 555 .....	- 6 -
2.6	Popis měniče 12V/230V s IR2153 pracujícího na analogovém principu.....	- 7 -
2.7	Stručný popis měniče řízeného mikrokontrolerem DSC56F8322 pracujícího na principu spínaných zdrojů .....	- 8 -
2.8	UPS.....	- 10 -
2.9	Akumulátory.....	- 13 -
3	Provedení popisu funkce a regulačních schopností vybraného typu měniče. ....	- 15 -
3.1	Bližší popis jednotlivých součástí měniče .....	- 16 -
4	Provedení měření důležitých veličin na vybraném měniči.....	- 19 -
4.1	Měření výstupního napětí měniče v závislosti na jeho zatížení .....	- 19 -
4.2	Měření výstupních průběhů u astabilního a monostabilního klopného obvodu .....	- 22 -
4.3	Měření průběhu nabíjení a vybíjení kondenzátoru monostabilního a astabilního klopného obvodu.....	- 24 -
4.4	Měření výstupních pulsů D klopných obvodů, které ovládají spínání tranzistorů střídače Q1 a Q2 .....	- 26 -
4.5	Měření impulsů, které spínají tranzistory dvou-pulzního střídače v DC/DC měniči .....	- 27 -
5	Závěr.....	- 28 -

# 1 Úvod

Tato práce obsahuje popis a analýzu některých běžně dostupných DC/AC měničů.

V její první části je uvedeno rozdělení měničů podle výkonů, tvaru výstupního napětí a velikosti vstupních napětí. Dále zde uvádím rozčlenění měničů podle různých typů zátěží. Jsou tu popsány příklady určitých měničů se stručným popisem jejich funkce. Tato část obsahuje také obecné rozdělení UPS měničů a základní druhy akumulátorů.

Druhá část obsahuje podrobný popis mnou analyzovaného měniče. Také zde popisují některé jednotlivé části tohoto měniče.

Ve třetí části jsou zobrazeny konkrétní výsledky a popis některých provedených měření.



## 2 Zpracování rešerše komerčně dostupných DC/AC měničů s ohledem na možné zátěží

### 2.1 Popis měniče

Měnič, též invertor nebo střídač, je elektrické zařízení, které přeměňuje stejnosměrné napětí a stejnosměrný proud na střídavé napětí a střídavý proud zpravidla o vyšších hodnotách.

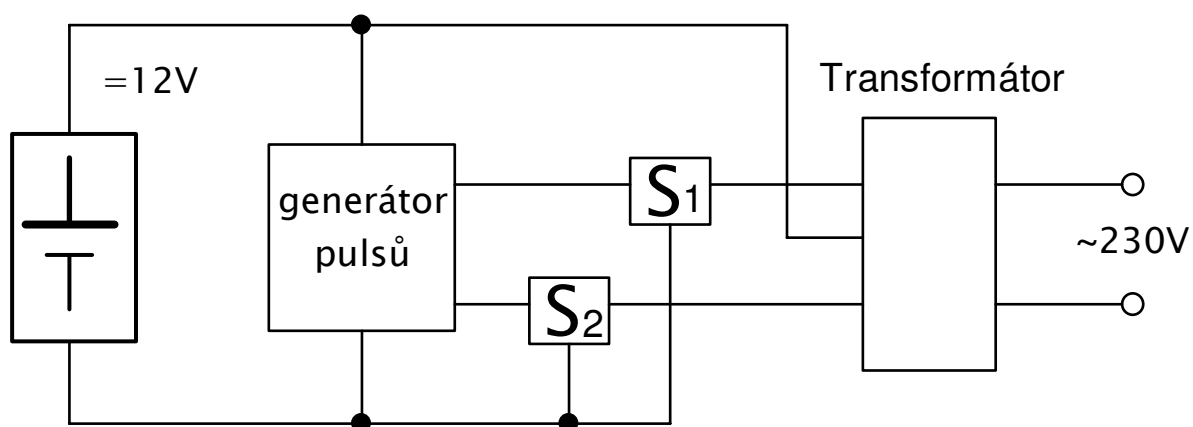
### 2.2 Použití měničů

Využití má hlavně tam, kde je k dispozici zdroj stejnosměrného napětí, ale k dalším účelům je výhodnější napětí střídavé. K nejmodernějším oblastem použití patří připojení fotovoltaických panelů, tedy typických stejnosměrných zdrojů, do elektrické sítě. Nejčastějším použitím je napájení většiny spotřebičů (230V/50Hz) z běžných akumulátorů, a to jak jako zdroje v podmínkách mimo dosah sítě (např. při kempování), tak jako nouzového záložního zdroje (např. UPS). UPS (anglicky Uninterruptible Power Supply Source) – „nepřerušitelný zdroj energie“.

### 2.3 Rozdělení měničů

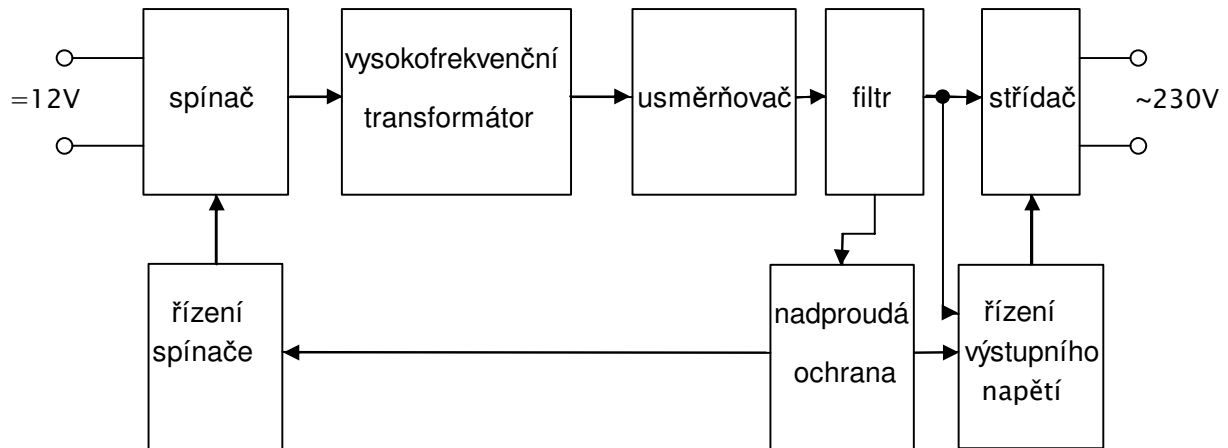
I. Měniče lze zpravidla rozdělit do dvou základních skupin.

Do první skupiny řadíme měniče, které pracují na analogovém principu. Jejich zapojení nejčastěji používá dvojčinný střídač a klasický transformátor. Tyto měniče bývají stavebně jednoduché. Jsou spolehlivé a výstup je většinou transformátorem galvanicky oddělen od vstupu. Nevýhodou jsou velké rozměry transformátoru.



Obr. č. 1 Blokové schéma analogového měniče

Druhou skupinu tvoří měniče fungující na principu spínaných zdrojů. Stejnoseměrné napětí je za pomoci spínacích prvků, které jsou řízeny pulsně šířkovou modulací (mosfet tranzistory), změněno na střídavé napětí s vysokou frekvencí (cca 50kHz). Napětí je transformováno transformátorem s feritovým jádrem. Následně je toto napětí usměrněno usměrňovačem a můstkovým střídačem rozstřídáno na napětí o požadované frekvenci 50Hz a velikosti 230V. U těchto typů měničů často bývá nevýhodou, že výstup a vstup nebývají galvanicky odděleny, čímž může dojít k poškození měniče při jejich špatném propojení. [1]

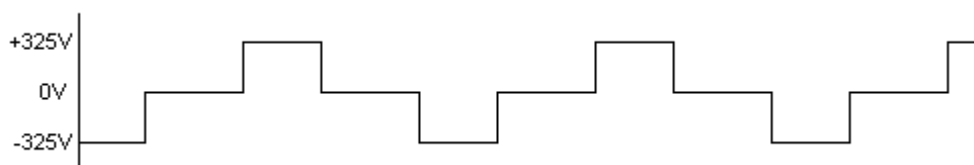


Obr. č. 2 Blokové schéma měniče na principu spínaných zdrojů

## II. Rozdělení dle tvaru výstupního signálu:

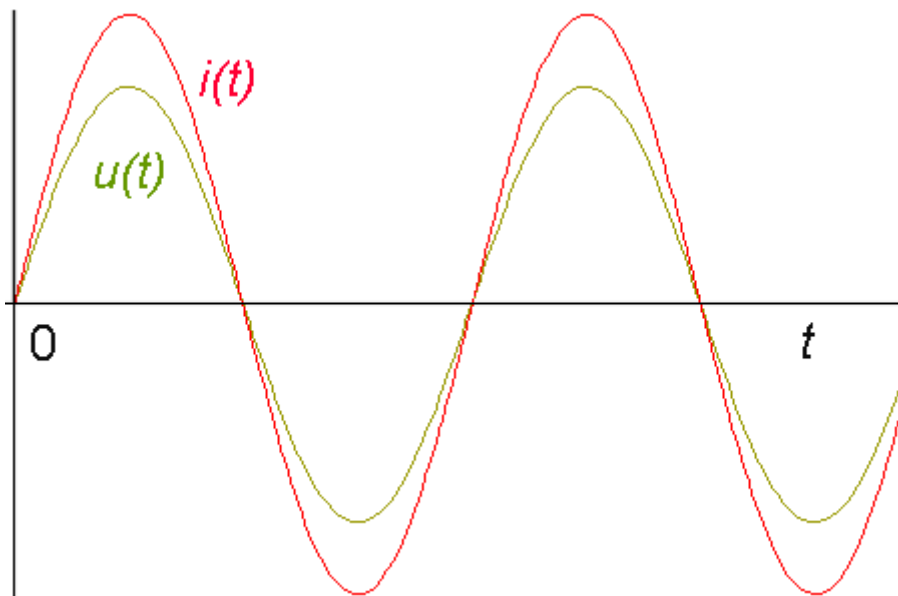
- a) měnič s obdélníkovým průběhem
- b) měnič s hladkou sinusoidou

- a) *měníč s obdélníkovým průběhem*– (často označován jako měnič s modifikovanou sinusoidou) má výstupní napětí, které není zcela hladké. Křivka (sinusoida) výstupního napětí také není hladká, ale trochu nepravidelná. Většinu spotřebičů takový průběh výstupního napětí nijak neovlivňuje při jejich činnosti.



Obr. č. 3 Obdélníkový průběh

- b) *měníč s hladkou sinusoidou* – má výstupní napětí hladké. Křivka výstupního napětí je hladká a tvoří ji téměř harmonická sinusoida. Takové měniče se využívají hlavně pro napájení citlivých přístrojů (např. lékařské, měřicí apod.).



Obr. č. 4 Hladká sinusoida

III. Rozdělení dle výkonu – u měničů napětí se zpravidla uvádějí dvě hodnoty výkonu:

- a) trvalý výkon
- b) špičkový výkon

a) *trvalý výkon měniče napětí* – je maximální výkon, který je měnič schopen podávat nepřetržitě po dobu několika desítek minut až hodin.

b) *špičkový výkon měniče napětí* – je výkon, který je měnič schopen podávat maximálně v řádu desítek až stovek milisekund.

Běžné trvalé hodnoty výkonů měničů jsou: 100W, 150W, 300W, 600W, 1000W, 1500W, 2000W, 5000W a 10000W. Je-li třeba použít měniče s výkonem vyšším než 10000W, pak měniče řadíme do řetězce nebo použijeme měnič třífázový.

IV. Rozdělení dle velikosti vstupního napětí.

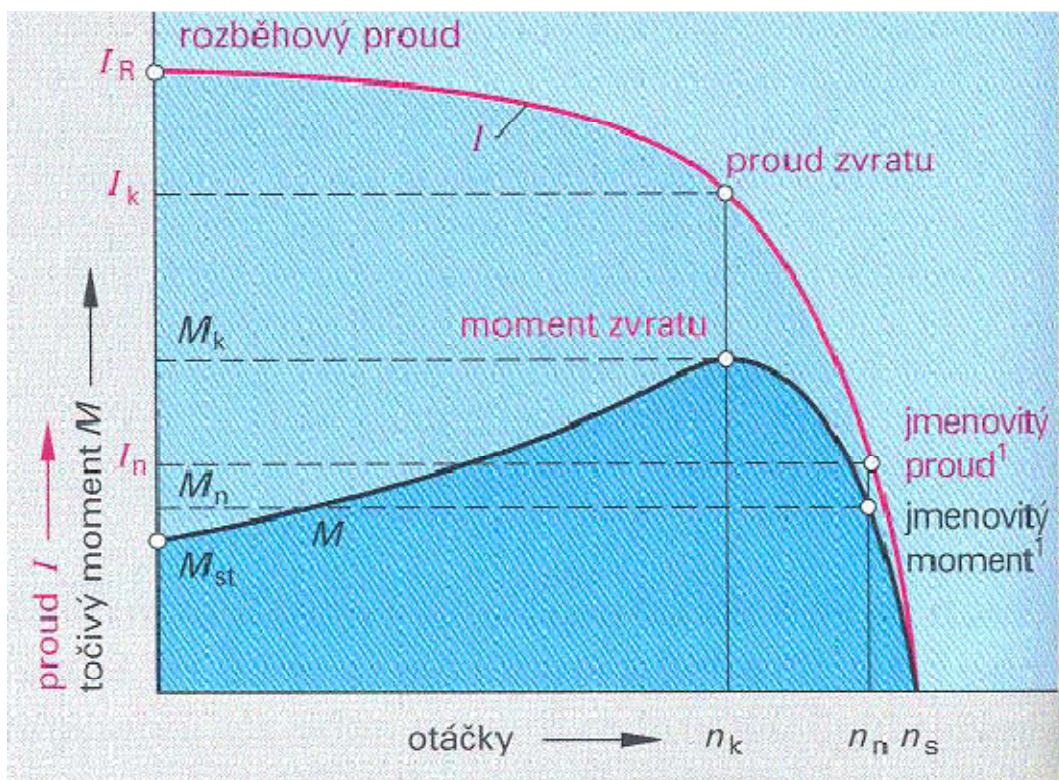
Jako vstupní napětí u měničů se uvádí stejnosměrné napětí s hodnotami 12V nebo 24V. Celkový rozsah napájecího napětí u 12V měniče bývá z pravidla 10V až 16V, u 24V měniče pak v rozsahu 20V až 30V. Výrobci vyrábí dva typy měničů

- pro připojení 12V akumulátoru
- pro připojení 24V akumulátoru

Oba typy jsou stejné, liší se jen jiným vstupním napětím. Při použití 24V měniče, pak proud, který poteče z 24V akumulátoru do tohoto měniče při zatížení, bude poloviční než proud, jenž poteče do 12V měniče napětí z 12V akumulátoru. Dle vzorce:  $P=U \times I$ , respektive  $I=P/U$ . [2]

## 2.4 Výběr vhodného měniče s ohledem na zátěž

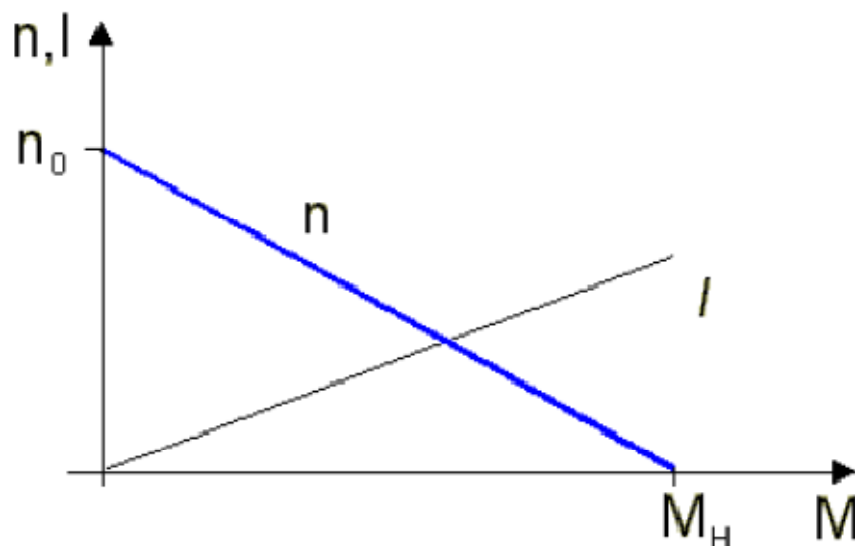
Pokud má být měničem napájena citlivá elektronika (přístroje obsahující řídící mikrokontroléry, měřicí technika, termostaty, atd.), je vhodné použít měnič napětí s čistou sinusoidou. K napájení asynchronních motorů (oběhová čerpadla, menší pracovní stroje) je vhodné použít měniče, které jsou vybaveny funkcí soft start. Měniče, které tuto funkci nemají, mohou spínat jen motory s mnohem menším výkonem, než je trvalý výkon měniče.



Obr. č. 5 Momentová a proudová charakteristika motoru

Hlavní nevýhodou asynchronních motorů je velký odběr proudu při spouštění.

Pro napájení komutátorových motorů (ruční elektrické nářadí) je vhodné použít měnič, jehož trvalý výkon bude vyšší, než je provozní příkon nářadí. V případě ručního nářadí se nejedná jen o korektní rozběh motoru, ale i o dostatečnou rezervu ve výkonu měniče při větším zatížení spotřebiče.



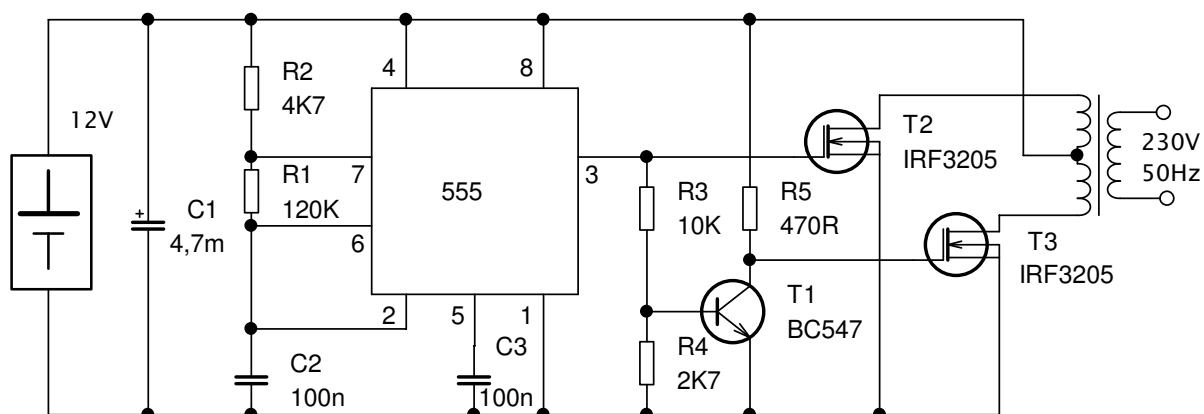
Obr. č. 6 Charakteristika komutátorového motoru se samonosným vinutím

Je-li u měniče napětí uvedeno „Trvalý výkon“, znamená to maximální trvalý výkon, ale ne doporučený trvalý výkon. Bude-li měnič pracovat delší čas na horním limitu svého výkonu, zvyšuje se pravděpodobnost jeho poškození. Většina měničů je vybavena ochranou proti přehřátí. Tato ochrana po určité době způsobí vypnutí měniče, který byl delší dobu nucen dodávat maximální trvalý výkon. V ideálním případě by měl být měnič používán do 75% svého trvalého výkonu. Pokud je měnič zapojen trvale, je vhodné jej zatěžovat do výkonu asi 50%.

## 2.5 Popis analogového měniče s časovačem 555

Zatížení tohoto měniče závisí na druhu použitých tranzistorů, velikosti jejich chladičů a použitém transformátoru. Tento měnič má v zapojení integrovaný obvod 555. Časovač je zapojen jako astabilní klopný obvod. Tento obvod pracuje na kmitočtu 50Hz. Kmitočet je ovlivněn velikostí odporu  $R1$  a kondenzátoru  $C2$ , což je dáno vztahem: 
$$f = \frac{1,4}{C2 \cdot (R2 + 2 \cdot R1)}$$

Jako spínače jsou použity dva tranzistory Mosfet a vodivosti typu N. První je buzen přímo z výstupu IO, druhý je buzen za pomoci invertoru BC547. Použit je síťový transformátor se dvěma sekundárními vinutími na 12V. Tento transformátor musí být nadimenzován na maximální požadované zatížení měniče. Požadovanému zatížení musí odpovídat velikosti chladičů výkonových tranzistorů. Chladiče nesmí být uzemněny ani propojeny, protože jsou připojeny na živé části tranzistorů. Napájecí zdroj má být dostatečně tvrdý a napětí by mělo být použito v rozpětí 11 – 14V. Účinnost tohoto měniče se pohybuje kolem 60 – 80%. U přístrojů nezávislých na frekvenci 50Hz, lze použít frekvenci vyšší (100 – 300Hz). Tím dochází ke snížení klidové spotřeby měniče. Mosfet tranzistory mohou být typu IRFZ48 pro výkon do 350W nebo IRF3205 pro výkon do 600W. Pro zátěž s vyšším výkonem lze použít paralelní spojení více tranzistorů. [3]

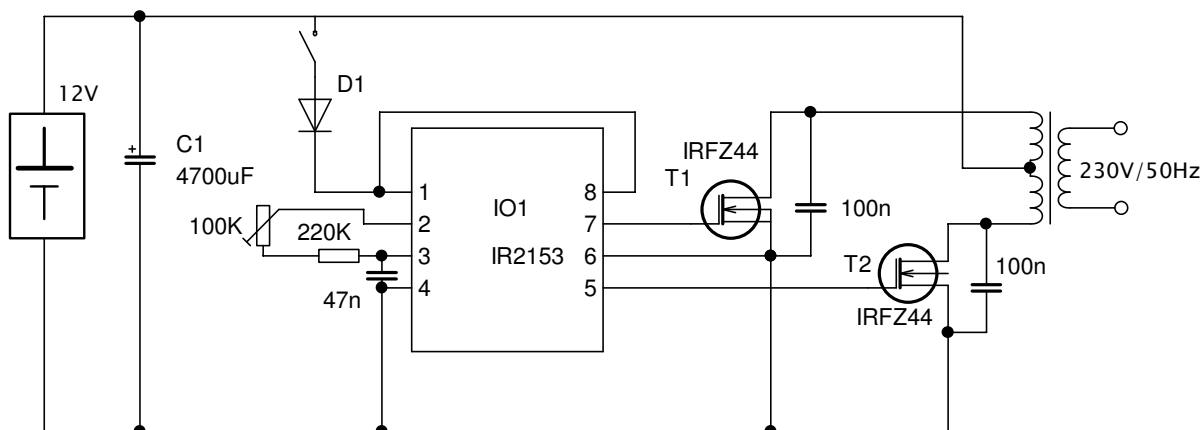


Obr. č. 7 Měnič s časovačem 555

## 2.6 Popis měniče 12V/230V s IR2153 pracujícího na analogovém principu

Základem tohoto měniče je obvod IR2153 vybavený dvěma výstupy, které jsou určeny speciálně pro buzení tranzistorů typu Mosfet a DEADTIME (toto zajišťuje, že tranzistory nespínají proti sobě a tím je snížena spotřeba měniče). Obvod IR2153 je vybaven také ochranou proti nízkému napětí na baterii. Pokud napětí klesne pod 10,5V, obvod přestane pracovat, tím se zabrání poškození akumulátoru.

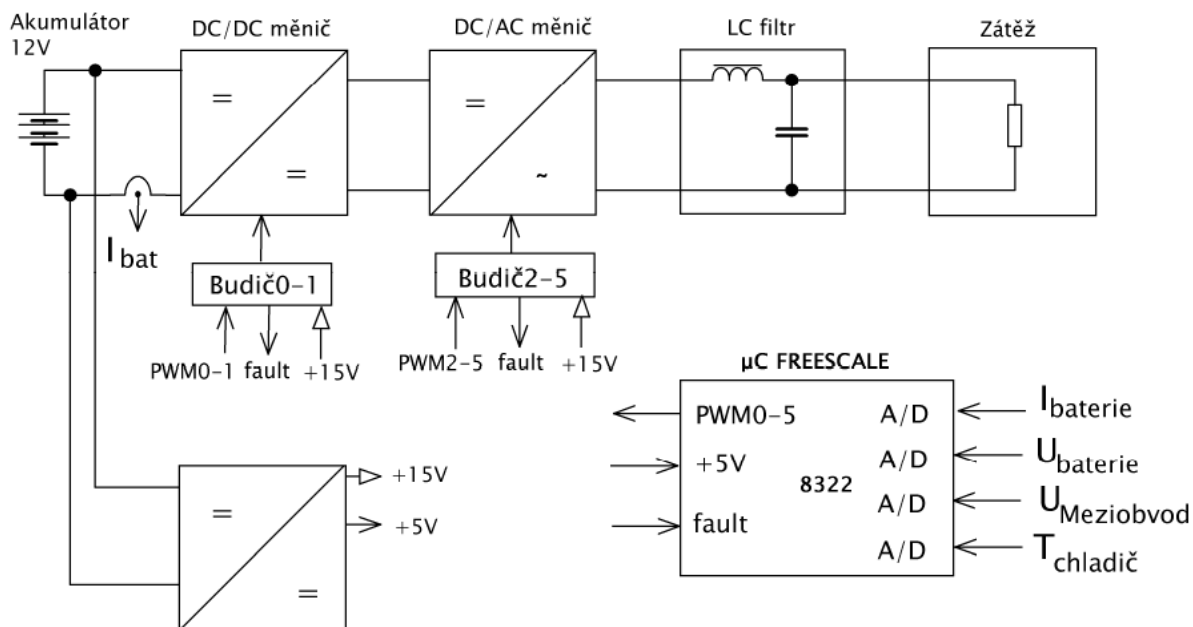
IO IR2153 vytváří na vývodech 5 a 7 střídavě pulsy s malým odstupem, každý puls vstupuje na jeden tranzistor. Transformátor je toroidní se dvěma sekundárními vinutími. Puls z IR2153 je přiveden na gate tranzistoru, ten sepne a protéká jím proud do jednoho vinutí transformátoru. Poté puls zanikne a tranzistor rozepte. Puls se objeví na druhém tranzistoru, který rovněž sepne, proud jím proteče na druhý konec vinutí transformátoru. Proud tedy poteče v opačném směru. Tak vzniká střídavý proud, ten je transformován na 230V. Vypínač umožní rychlé vypnutí měniče. Tím se zabraňuje spotřebě energie při chodu naprázdno. K doladění na požadovanou frekvenci je použit trimr. [4]



Obr. č. 8 Měnič s IO IR2153

## 2.7 Stručný popis měniče řízeného mikrokontrolerem DSC56F8322 pracujícího na principu spínaných zdrojů

V této části jsou popsány jednotlivé části měniče s parametry 12V DC/230V AC. [5]



Obr. č. 9 Blokové schéma jednofázového měniče

Použit je zdroj stejnosměrného napětí (akumulátor 12V) a měnič s těmito parametry:

Vstupní napětí  $U_{in} = 12 \div 14,5V$

Celkový výkon měniče  $S = 250VA$

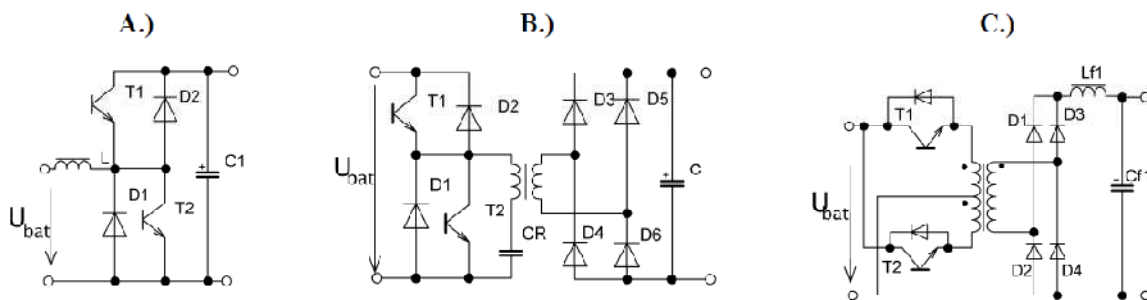
Výstupní hodnota 1. harm. napětí  $U_{1ef} = 230V$

Pracovní kmitočet DC/DC měniče  $f_1 = 100kHz$

Pracovní kmitočet DC/AC měniče  $f_2 = 100kHz$

### I. DC/DC měnič

Tento obvod se používá pro zvýšení nízkého napětí baterie na stejnosměrné napětí vyšší hodnoty. Toto napětí bude pomocí střídače upraveno na střídavé napětí 230V/50Hz. Zvolení správného DC/DC měniče má zásadní vliv na velkou účinnost celého popisovaného zařízení. Některé příklady jsou uvedeny na obrázku č. 10.



Obr. č. 10 Zapojení některých DC/DC měničů

Obr. č. 10 A znázorňuje zapojení bez transformátoru. Jeho výhodou je, že umožňuje tok energie oběma směry a tím dovoluje připojení jalové zátěže. Jeho nevýhoda spočívá v tom, že nedovoluje různě velký poměr vstupního a výstupního napětí kondenzátoru C1 (maximálně pětinašobek), jinak dramaticky klesá účinnost.

Obr. č. 10 B znázorňuje zapojení rezonančního měniče. Tento nepotřebuje na výstupu tlumivku. Jeho nevýhodou je nemožnost regulace výstupního napětí na kondenzátoru. Toto zapojení má velkou účinnost, ale při použití digitálního řízení je potenciál DSC nevyužit.

Obr. č. 10 C znázorňuje zapojení dvojčinného propustného měniče, který umožňuje změnou střídy regulaci napětí na kondenzátoru. Jeho nevýhoda spočívá v tom, že když je střída obou tranzistorů různá, může docházet ke stejnosměrnému přesycování transformátoru. Při použití digitálního řízení je toto ošetřeno s vysokou přesností.

## II. DC/AC měnič a LC filtr

V tomto obvodu je použit klasický čtyřkvadrantový můstek, který vhodným spínáním tranzistorů a filtrací výstupního napětí na výstupním LC filtru umožní dosažení sinusového průběhu napětí s vysokou přesností.

## III. Napájecí blok a měření elektrických veličin

Napájecí blok slouží k napájení operačních zesilovačů, budičů, proudových čidel a DSC. Pokud má být na výstupu zajištěna stálá hodnota efektivního napětí i při změnách vstupního napětí akumulátoru, je třeba toto napětí měřit a regulovat za pomoci uzavřené regulační smyčky. V tomto případě je regulace digitální a převod zpětnovazebních veličin je zajištěn vestavěnými A/D převodníky DSC.



#### IV. Budiče

Budiče se používají k úpravě logických signálů z generátoru PWM na potřebnou velikost a též galvanickému oddělení řídicích obvodů od řídicí elektrody tranzistoru. Pro zjednodušení jsou použity budiče, které pracují způsobem tzv. nábojové pumpy s integrovaným obvodem IR2128S.

#### V. Řídicí část

K řízení veškeré soustavy byl použit digitální signálový kontrolér od firmy Freescale MC56F8322. Procesor obsahuje:

- 6 výstupů PWM. Toto stačí k řízení celého měniče
- dvojice A/D převodníků. Ty jsou osazeny přímo v DSC.

#### VI. Regulační struktura měniče

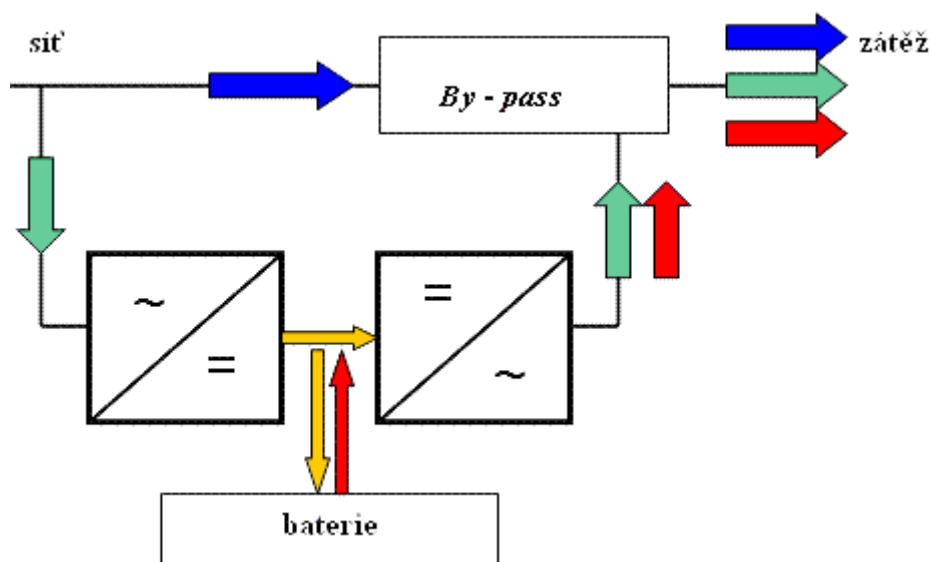
Regulační struktura je tvořena zásadně jen programově pomocí DSC. Pro regulaci je nepodstatné, že měnič obsahuje transformátor, neboť z pohledu dynamických vlastností se jeví jako ideální proporcionální člen. K řízení je použita kaskádní regulace napětí s podřízenou proudovou smyčkou, která je vhodná k regulaci popsaného měniče, protože smyčka odstraňuje setrvačnost tlumivky  $L$ , a tím snižuje řád regulované soustavy o jedničku.

## 2.8 UPS

Zdroj trvalého napětí je nedílnou součástí četných instalací výpočetní i jiné techniky. Při ochraně zařízení výpočetní techniky je důležité nejen prodloužit čas jejich práce na určitý interval výpadku elektřiny, ale v případě dlouhého přerušení dodávky proudu také spolupracovat na automatickém ukončení jejich práce. [6]

# I. ON – LINE UPS

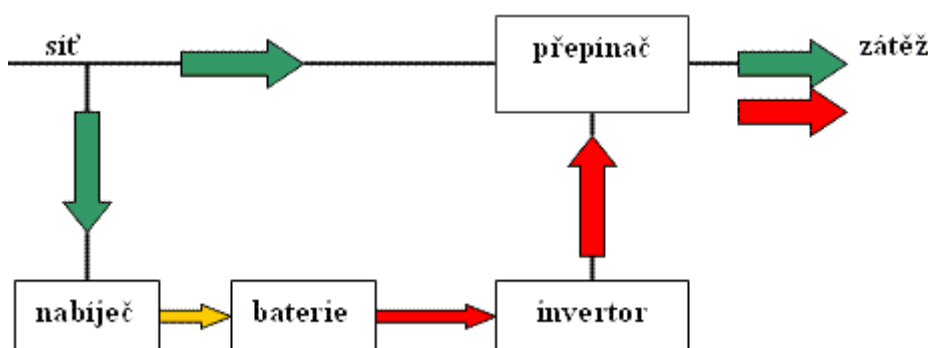
Vstupní napětí prochází usměrňovačem (vstupním měničem), který dobíjí baterie a napájí střídač (výstupní měnič). Připojná zařízení jsou vždy napájena ze střídače. Ten generuje stabilizované střídavé napětí. Při výpadku napájecí sítě je střídač ihned napájen ze vstupních akumulátorů. Poruchy a rušivé vlivy napájecí sítě jsou odrušeny. Většina typů záložních zdrojů čerpá ze sítě sinusový proud, tím se zamezí nežádoucím zpětným vlivům na napájecí síť. Zdroje ON – LINE jsou často vybaveny obtokem (BYPASS), který při velkém přetížení nebo při poruše střídače přepne automaticky zálohovanou zátěž přímo do sítě. V okamžiku přepnutí není na průběhu výstupního napětí zdroje UPS patrná žádná změna, přechod je zcela plynulý. Zdroje ON – LINE tak mají na výstupu stále přednastavené konstantní znovu-generované sinusové napětí při větším rozsahu vstupního napětí bez použití energie z baterií. Jedinou nevýhodou zdroje UPS s architekturou ON – LINE je nižší účinnost (těsně nad hranicí 90%), vyplývající ze ztráty při dvojí změně energie. Proto mají některé ON – LINE zdroje zabudovanou možnost tzv. ECO – módu. V tomto režimu zdroj UPS standardně napájí zátěž přes automatický obtok, přičemž střídač pracuje naprázdno a jeho výstupní napětí je ve fázi s napětím sítě. V případě poruchy vstupního napětí přejde napájení zátěže spojitě na střídač. Tím je dosažena průměrná provozní účinnost 97-98%.



Obr. č. 11 Architektura ON – LINE

## II. OFF – LINE UPS

Tyto záložní zdroje napájejí připojené spotřebiče přes filtr z distribuční sítě a vnitřní baterie jsou taktéž dobíjeny ze sítě. Při poruše napájecí sítě je energie čerpaná z akumulátoru. Na výstupu je generované, elektronickou cestou stabilizované, střídavé napětí, obvykle obdélníkového průběhu. Toto uspořádání umožňuje využít množství prvků zdroje v obou provozních režimech. Tím se zařízení značně zjednoduší a sníží se jeho cena. Poruchy a rušivé vlivy nejsou potlačeny tak dokonale, jako u typu ON – LINE. Při přepínání provozních režimů dochází ke krátkodobému výpadku v napájení zátěže. Tím je dána oblast použití zdrojů typu OFF – LINE na méně důležité zálohovací napájení, kde nevádí malé potlačení poruch sítě, větší kolísání výstupního napětí, nesinusové výstupní napětí a několika milisekundové výpadky při přepnutích.

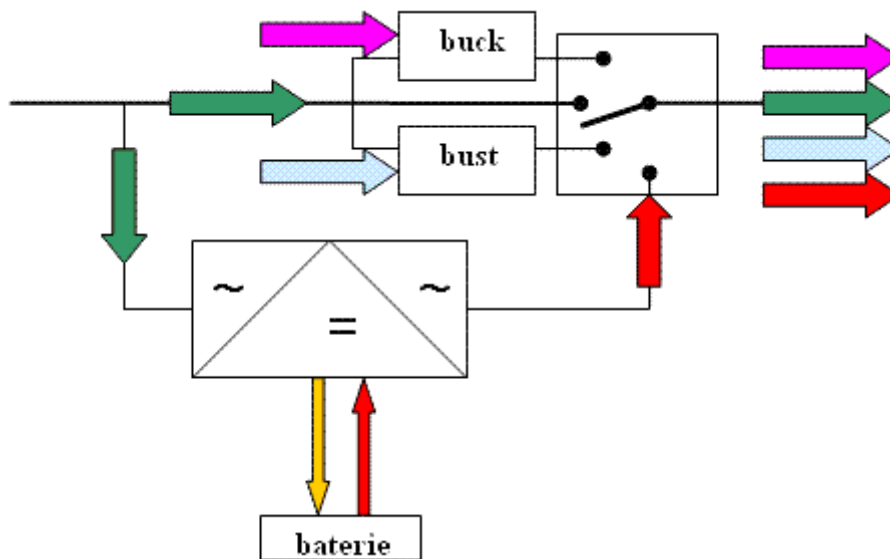


Obr. č. 12 Architektura OFF – LINE

## III. LINE INTERACTIVE

Tento typ je v podstatě zdokonalená varianta typu OFF – LINE. Funkcí zdroje je i při přítomnosti síťového napětí staticky stabilizovat výstupní napětí záložního zdroje. Stabilizace se dělá po krocích, dle typu záložního zdroje v různém, nepřilíš velkém, počtu stupňů. Záložní zdroj mající připojené spotřebiče přes filtr z distribuční sítě, přičemž jsou baterie dobíjeny. Při porušení sítě se energie čerpá z baterií, na výstupu je generované stabilizované střídavé napětí. Pokud vstupní napětí překročí přepínací úroveň, záložní zdroj přepne na režim zálohování, přepne odbočky na regulačním transformátoru a vrátí napájení na síť, tentokrát však s jiným výstupním napětím záložního zdroje, v užší toleranci, než má vstupní síťové napětí. Každé přepnutí transformátoru je provázeno dvojnásobným skokem do režimu zálohování a zpět do pracovního režimu napájení ze sítě. Poruchy a rušivé vlivy jsou potlačovány o málo lépe než u zdrojů typu OFF – LINE. To se však týká jen pomalého kolísání napětí. Při přepínání provozních režimů dochází k dvojnásobnému krátkodobému výpadku v napájení zátěže. Tyto vlastnosti určují použití zdrojů typu LINE INTERACTIV na méně důležité napájení, u kterého nevádí malé potlačení rychlých poruch v síti, stupňovité kolísání výstupního napětí, případné nesinusové výstupní napětí a krátkodobé

výpadky při přepínání na jednodušších typech záložních zdrojů. Při výpadku sítě není rozdíl mezi funkcí zdroje OFF – LINE a LINE INTERACTIV. Střídač je při něm napájen z baterie a současně dojde k přepnutí zátěže na výstup střídače. Doba přepnutí nepřesahuje pravidla 4 milisekundy. Pokud nedojde k obnově síťového napětí, napájí střídač zátěž tak dlouho, než dojde k vybití akumulátoru na povolenou hranici. Při obnově síťového napájení dojde po synchronizaci se síťovým napětím k opětovnému přepnutí zátěže na síť. Akumulátory se začnou nabíjet, aby byly schopné pokrýt budoucí výpadky sítě.



Obr. č. 13 Architektura LINE INTERACTIV

## 2.9 Akumulátory

Akumulátory jsou sekundární články, které se musí nejdříve nabít, až poté se dají použít jako zdroj energie. Sestávají z několika vzájemně propojených článků. Počet těchto článků určuje výsledné napětí akumulátoru. Nejrozšířenější hodnoty napětí akumulátorů jsou 6V, 12V nebo 24V. Kapacita akumulátoru se uvádí v Ah. [7]

Akumulátory můžeme rozdělit podle různých kritérií například:

Podle typu elektrolytu      - s kyselým elektrolytem  
    - se zásaditým elektrolytem  
    - s bezvodým elektrolytem

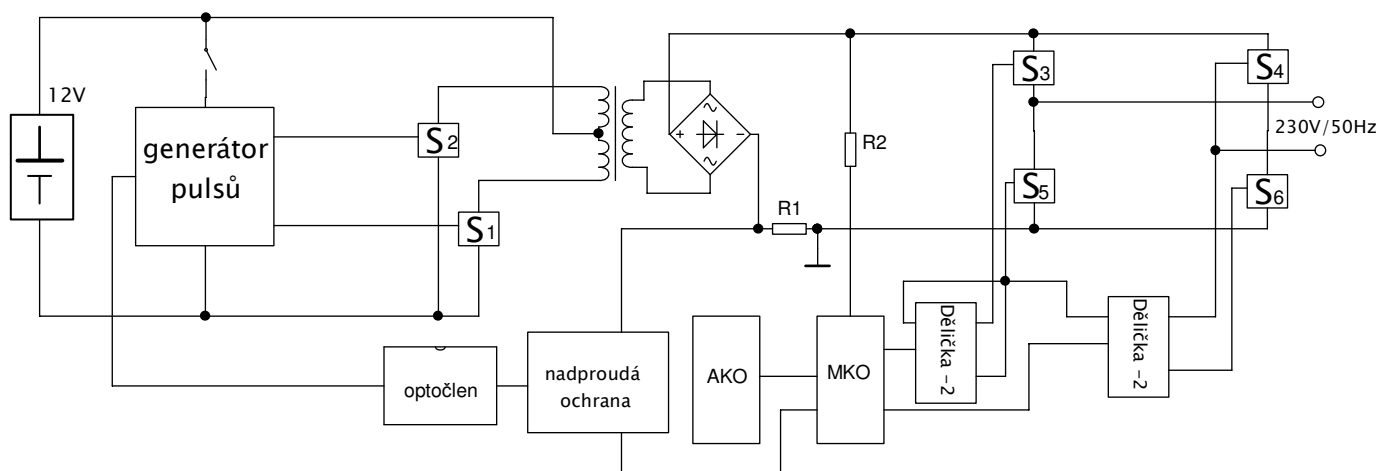
Podle provedení                -otevřené  
    -uzavřené

Podle principu	-olověný
	-nikl-kadmiový
	-nikl-metalhydridový
	-lithium-ionový
	-lithium-polymerový

- I. *olověný* – nejstarší typ; může být otevřený nebo uzavřený. K jeho výhodám patří vysoká kapacita, dlouhá životnost a nízké samovybíjení. Nevýhodou je jeho vysoká hmotnost, větší rozměry a použití olova (neekologické). Tyto akumulátory se skladují pouze v nabitém stavu. Napětí na jednom článku je 2V.
- II. *nikl-kadmiový* – je uzavřený. Jeho výhodou je vysoký počet nabíjecích cyklů, schopnost pracovat i za nízkých teplot a rychlé nabíjení. K jeho nevýhodám patří vyšší hmotnost, menší kapacita a použití jedovatého kadmia. Napětí na jednom článku je 1,2V.
- III. *nikl-metalhydridový* – k výhodám patří vyšší kapacita a nižší hmotnost než u nikl-kadmiových akumulátorů a šetrnost k životnímu prostředí. Nevýhodou je rychlé samovybíjení a nižší počet nabíjecích cyklů. Napětí na jednom článku je 1,2V.
- IV. *lithium-ionový* – výhodou je vysoká kapacita, nepatrné samovybíjení a vysoký počet nabíjecích cyklů. Hlavní nevýhodou je dlouhá doba nabíjení. Napětí na jednom článku je 3,6V.
- V. *lithium-polymerový* – patří k nejnovějším typům akumulátorů. Jeho výhodou je vysoká kapacita a velký počet nabíjecích cyklů. K nevýhodám patří vysoká pořizovací cena a dlouhá nabíjecí doba. Napětí na jednom článku je 3,6V.

V tomto případě musí být akumulátor při běžném provozu měniče udržovaný v nabitém stavu, aby byl schopný dodat do zátěže požadovaný proud. Proto je nejvhodnější použít uzavřený olověný gelový akumulátor, a to z důvodu technického i ekonomického.

### 3 Provedení popisu funkce a regulačních schopností vybraného typu měniče.



Obr. č. 14 Blokové schéma měniče, který jsem analyzoval

Tento měnič je určen pro napájení stejnosměrným napětím 12V. Na primární straně vinutí měniče se nachází integrovaný obvod KA3525A. Tento obvod řídí spínání mosfet tranzistorů. Z výstupů 14 a 11 (viz. Příloha č. 1) generuje střídavě pulsy. Každý puls vstupuje střídavě na jeden z tranzistorů. Tranzistory jsou připojeny pomocí drainů k vinutí transformátoru. Pokud tranzistor sepne, protéká jím proud do jednoho vinutí transformátoru. Po zaniknutí pulsu do gate tranzistoru přestane protékat proud transformátorem. Poté je přiveden puls do gate druhého tranzistoru. Ten sepne a proud jím proteče na druhý konec vinutí transformátoru, tentokrát v opačném směru. Transformátor přetransformuje proud na vyšší úroveň. Na sekundární straně vynyutí transformátoru je připojen můstkový diodový usměrňovač, jenž napětí usměrní na hodnotu kolem 320V. K usměrňovači je paralelně připojen filtrační kondenzátor, který napětí vyhladí. Toto napětí je přivedeno k můstkovému zapojení střídače.

Střídač je tvořen čtyřmi výkonovými mosfet tranzistory. Mosfet tranzistory jsou řízeny pomocí několika klopných obvodů. Astabilní klopný obvod generuje pulsy o frekvenci 100Hz. Tuto frekvenci jsem vypočítal pomocí vzorce:

$$f = \frac{1,4}{C \cdot (R_2 + 2 \cdot R_1)} = \frac{1,4}{100n \cdot (68k + 28k + 2 \cdot 22k)} = 100Hz$$

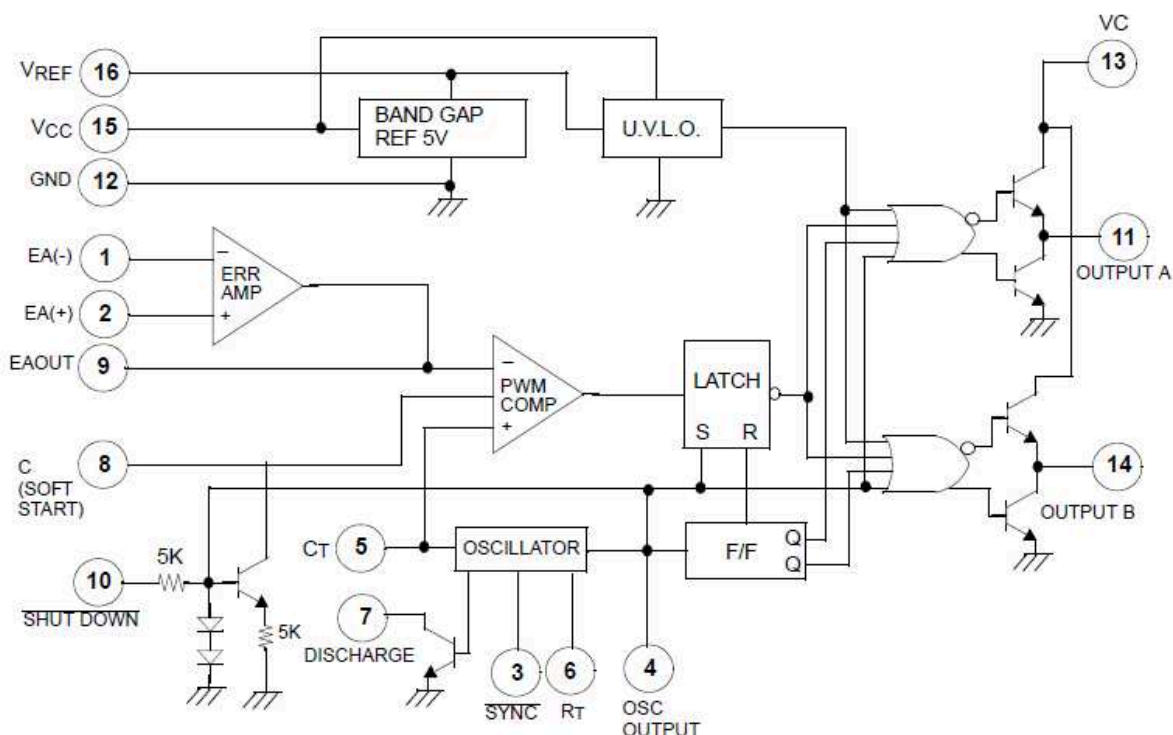
Výstup astabilního klopného obvodu je přiveden na monostabilní klopný obvod a slouží k jeho překlápění. Monostabilní klopný obvod vytváří pulsy, ty jsou přivedeny do D klopných obvodů. Překlápění monostabilního klopného obvodu je závislé na velikosti zátěže, jež je připojena k měniči. Čím je zátěž větší, tím delší je sepnutí monostabilního klopného obvodu. D klopné obvody mají zapojení jako dělička dvěma. Výstupy z těchto obvodů jsou přivedeny na tranzistory, které spínají a vytváří tak výstupní napětí.

Měnič je vybaven nadproudovou ochranou. Tato by měla zajistit přerušení spínání tranzistorů, aby nedošlo k jejich zničení, pokud naroste proud nad povolenou mez. Velikost proudu vyhodnocují komparátory LM393. Pokud dojde k přetížení, monostabilní klopný obvod se přestane překlápět. Výstup z komparátoru je za pomoci zpětné vazby s opto-členem přiveden na primární stranu měniče. Zde je vyhodnocen a dojde k zablokování.

Dále je měnič vybaven ochranou baterie. Pokud napětí na baterii poklesne pod určitou hranici, měnič přestane pracovat, čímž se zabrání trvalému poškození baterie.

### 3.1 Bližší popis jednotlivých součástek měniče

- I. *Obvod KA3525A* – je to monolitický integrovaný obvod, který obsahuje všechny regulační obvody potřebné pro regulátor pulsně šířkové modulace impulsů. Dále sestává ze zdroje referenčního napětí, zesilovače odchylky, pulsně šířkového modulátoru, oscilátoru, pod-napěťové blokace, obvodu pozvolného rozběhu (soft-start) a výstupního ovládání. Obvod je vybaven i řízením mrtvé doby. [8]



Obr. č. 15 Vnitřní blokové schéma obvodu KA3525A

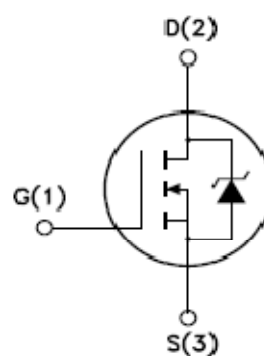
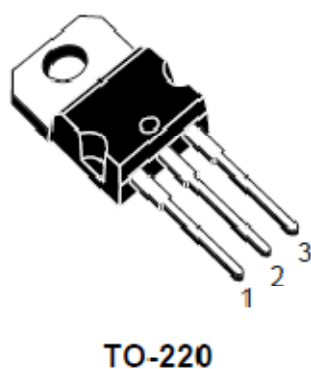
- II. *Mosfet tranzistory P60NF a IRF740* – jsou to tranzistory řízené elektrickým polem. Obvykle mají tři, někdy také čtyři, vývody (Gate – G hradlo, Drain – D, Source – S a případně substrát - B. Ten se nejčastěji propojuje v pouzdru se sourcem).

Základní parametry tranzistoru P60NF:

- napětí  $V_D=30V$
- odpor  $R_{DS(on)}=0,008\Omega$
- proud  $I_D=60A$
- vodivost typu N

Základní parametry tranzistoru IRF740:

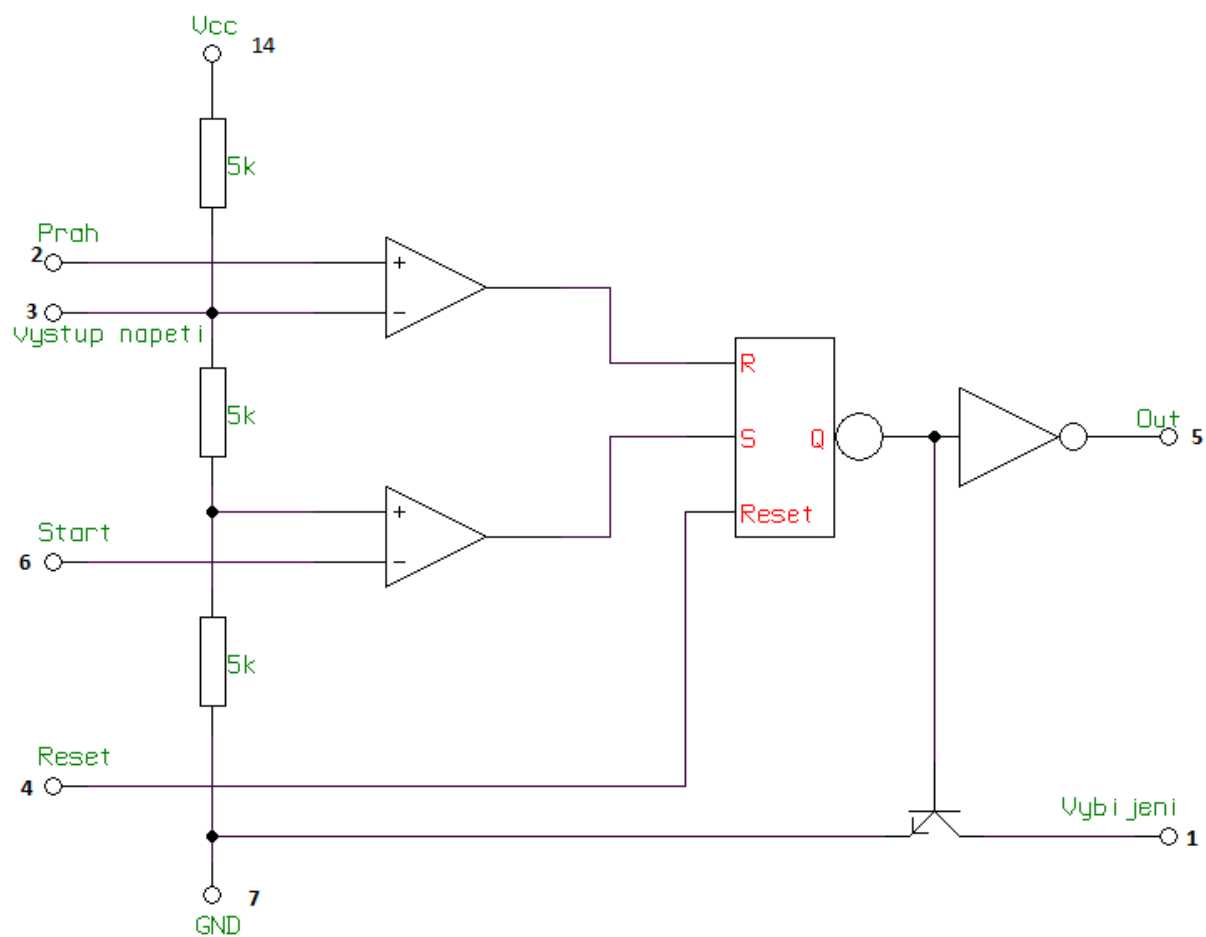
- napětí  $V_D=400V$
- odpor  $R_{DS(on)}=0,048\Omega$
- proud  $I_D=10A$
- vodivost typu N [9]



Obr. č. 16 Vnitřní blokové schéma tranzistoru a jeho pouzdro

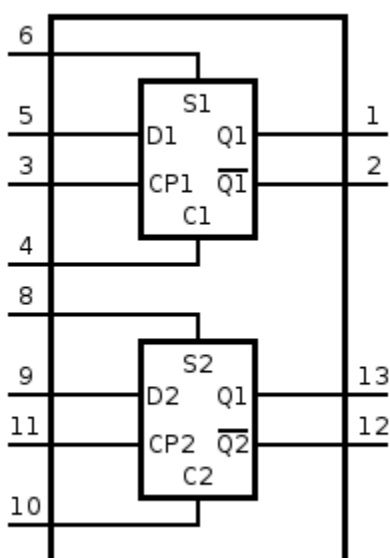
- III. *Transformátor* – v tomto zapojení je použitý toroidní transformátor se dvěma vinutími a dvěma výstupy na sekundární straně.
- IV. *Dvojitý časovač 556* – je to vlastně sestava dvou časovačů 555 v jediném pouzdru. Jeden z časovačů je zapojen jako astabilní klopný obvod a druhý jako monostabilní klopný obvod.





Obr. č. 17 Principální schéma dvojitého časovače 556

- V. *Integrovaný obvod CD 4013* – je obvod se dvěma klopnými obvody typu D, které se mohou použít nezávisle na sobě a v našem případě byl zapojen jako děličky dvěma a řídil spínání tranzistorů.



Obr. č. 18 Vnitřní zapojení obvodu CD 4013

- VI. *DC/DC měnič* – se skládá ze dvou spínacích tranzistorů, toroidního transformátoru, můstkového usměrňovače a filtračního kondenzátoru. Tranzistory vstupní stejnosměrné napětí rozstřídají na vysokou frekvenci asi 43kHz. Toto napětí je přetransformováno a následně usměrňovačem usměrněno na hodnotu okolo 320V. Dále je vyhlazeno kondenzátorem.
- VII. *Nadproudová ochrana* – je vytvořena pomocí komparátoru LM393. Na usměrňovači je snímáno záporné napětí, které se porovnává s kladným referenčním napětím o hodnotě 2,5V. Pokud je záporné napětí vyšší, komparátor se uzemní. Tím se zablokuje monostabilní klopný obvod. Opticky to poznáme tak, že zhasne led dioda. Tato změna se pomocí zpětné vazby s opto-členem projeví zablokováním pulsů do tranzistorů na primární straně obvodu.
- VIII. *Tepelná ochrana* – teplotní čidlo snímá teplotu z tranzistorů můstkového střídače. Pokud teplota naroste nad povolenou mez, zablokuje se tranzistor a napětí 12V se přes diodu a zpětnou vazbu přenesne na primární stranu, kde dojde k zablokování měniče.

## 4 Provedení měření důležitých veličin na vybraném měniči

Použitý měřicí přístroj: Osciloskop Agilent DSO 1002A

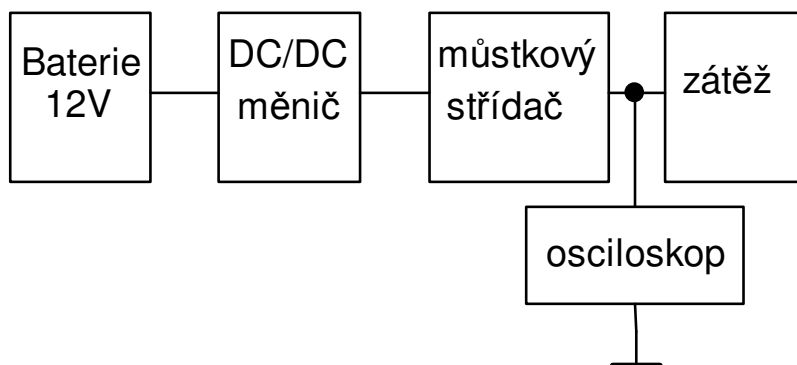
Zátěž: 15W žárovka

kancelářská lampička s 100W žárovkou

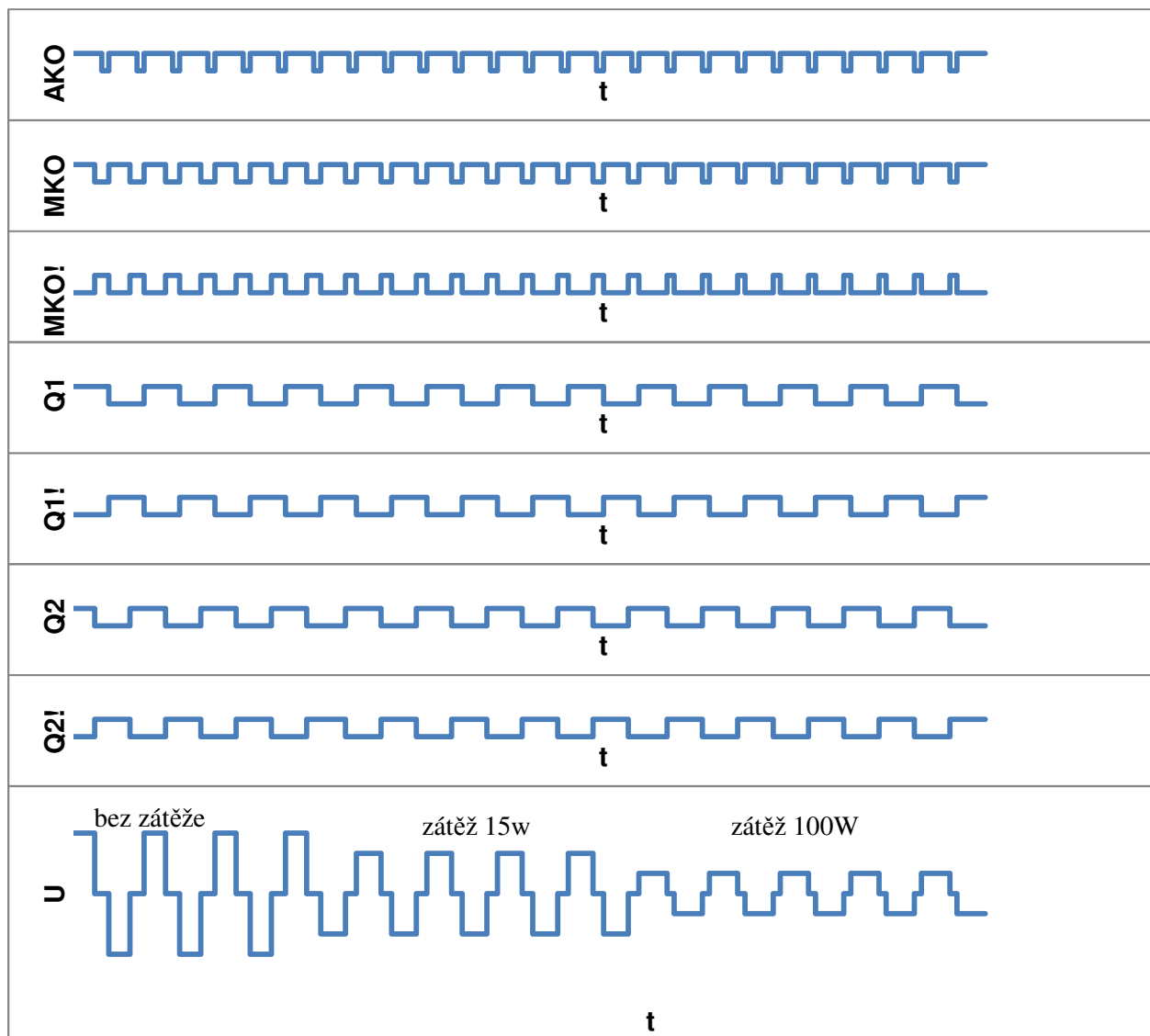
Napájení: 12V akumulátor

Měnič: Goldsource DF-1753 200W

### 4.1 Měření výstupního napětí měniče v závislosti na jeho zatížení

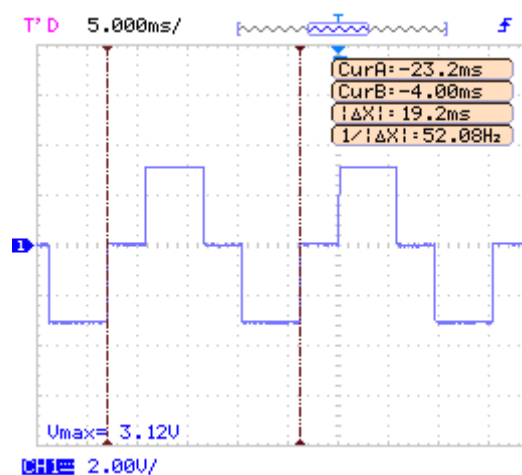


Obr. č. 19 Blokové schéma pro měření výstupního napětí měniče

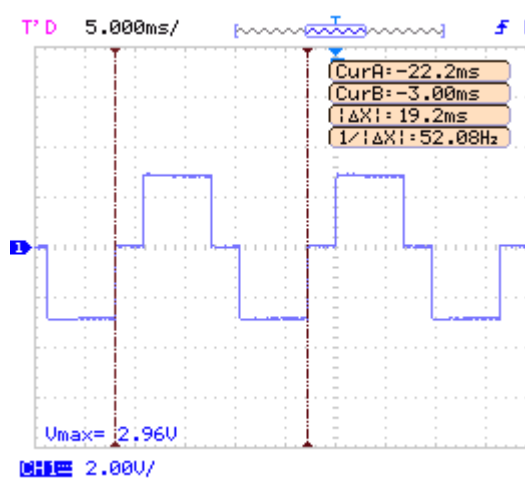


Obr. č. 20 Teoretické průběhy pro různá zatížení měniče

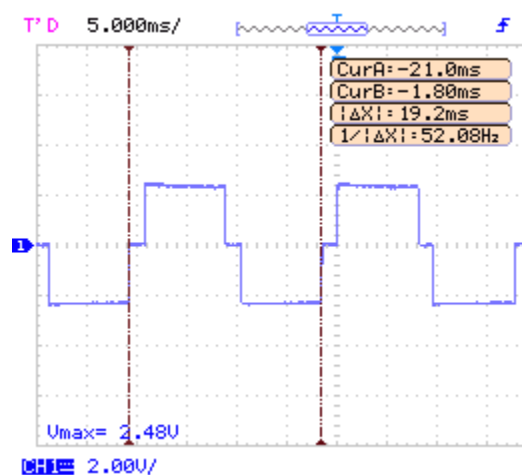
Na obrázku č. 20 jsou teoretické průběhy, které jsem následně měřil. Průběh MKO se mění v závislosti na změně zátěže, při zvyšování zátěže se prodlužuje doba jeho sepnutého stavu. Výstup z MKO je přiveden do klopů D klopných obvodů, které jsou zapojeny jako děličky dvěma. Do jednoho D klopného obvodu je přiveden signál z MKO přímo a do druhého invertovaně. Výstupy z D klopných obvodů řídí spínání tranzistorů střídače. Tak se nastavuje potřebná šířka výstupních pulsů napětí pro danou zátěž.



Obr. č. 21 Průběh výstupního napětí při nezatíženém měniči



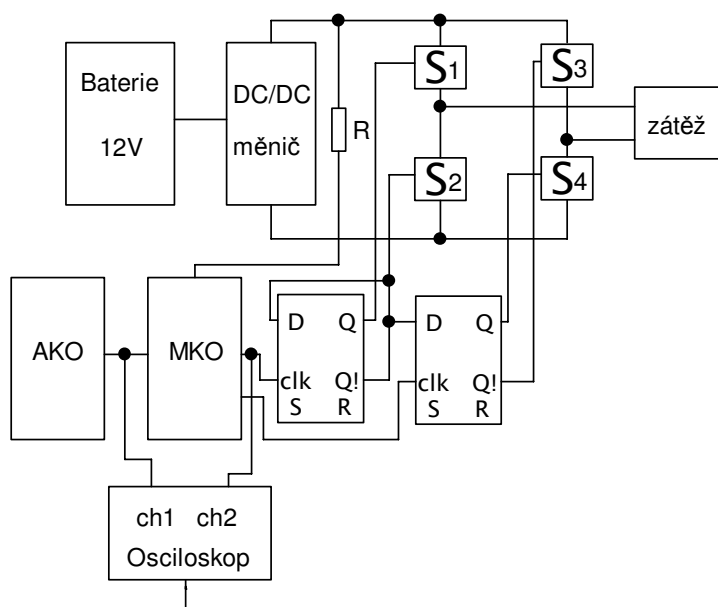
Obr. č. 22 Průběh výstupního napětí při zatížení 15W žárovkou



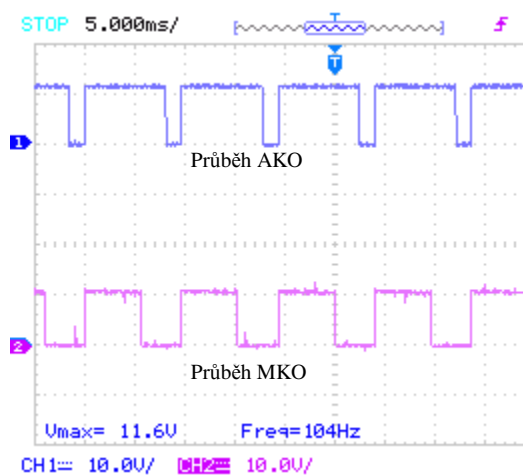
Obr. č. 23 Průběh výstupního napětí při zatížení lampou

Průběh výstupního napětí měniče se upravuje tak, aby jeho efektivní hodnota byla stále 230V. Při zvýšení zátěže klesne amplitudová hodnota napětí, ale prodlouží se délka jeho trvání. Tím se zachová stálá efektivní hodnota na 230V.

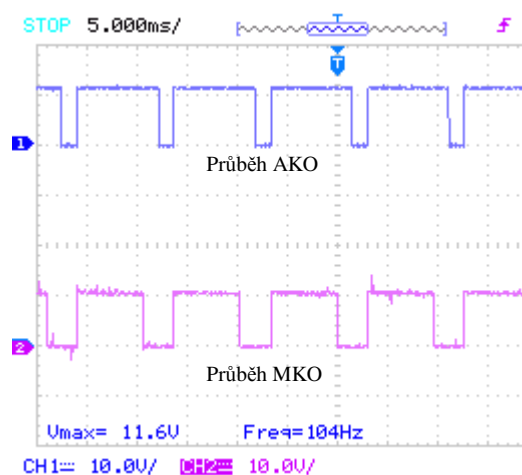
#### 4.2 Měření výstupních průběhů u astabilního a monostabilního klopného obvodu



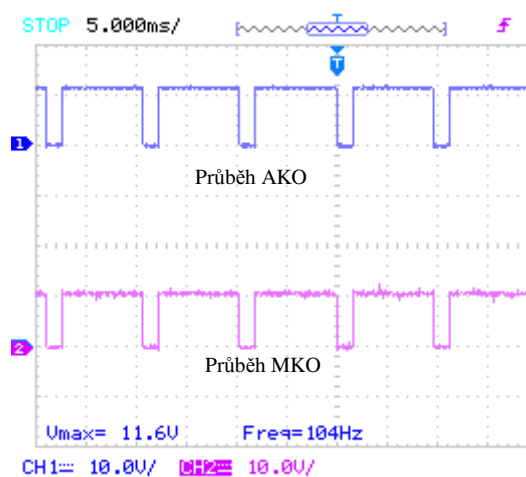
Obr. č. 24 blokové schéma pro měření průběhů MKO a AKO



Obr. č. 25 Průběh napětí monostabilního a astabilního klopného obvodu při nezatíženém měniči



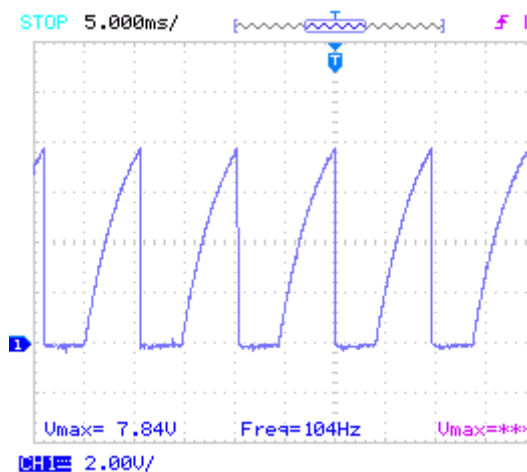
Obr. č. 26 Průběh napětí monostabilního a astabilního klopného obvodu při zatížení 15W žárovkou



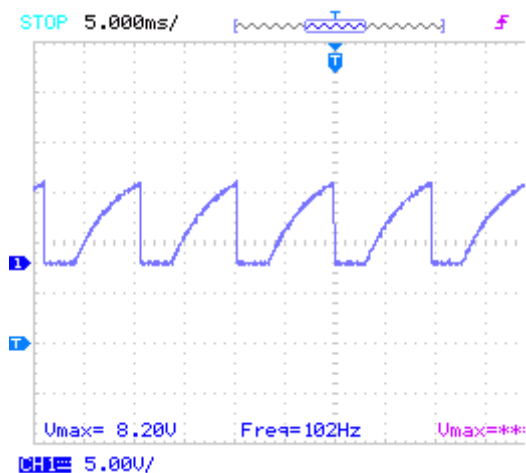
Obr. č. 27 Průběh napětí monostabilního a astabilního klopného obvodu při zatížení lampou

Průběh astabilního klopného obvodu se v závislosti na zatížení měniče nemění. Tento průběh má frekvenci 104Hz. Průběh z astabilního klopného obvodu je přiveden do monostabilního klopného obvodu, kde řídí jeho překlápění. Monostabilní klopný obvod se překlápí v závislosti na velikosti napětí jdoucího do zátěže.

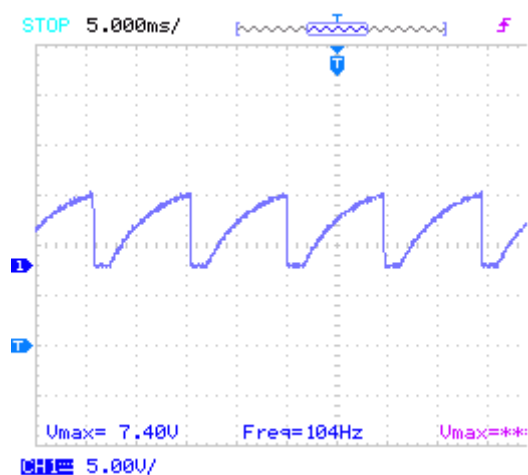
#### 4.3 Měření průběhu nabíjení a vybíjení kondenzátoru monostabilního a astabilního klopného obvodu



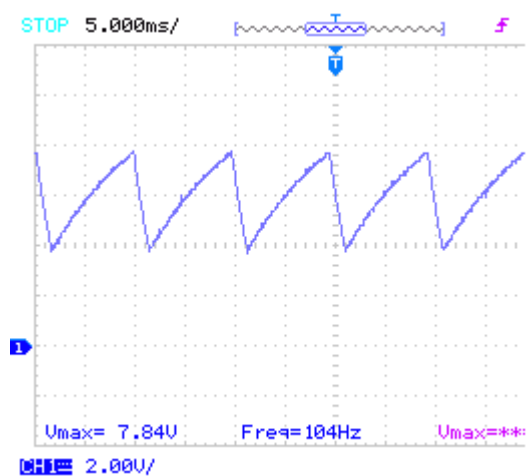
Obr. č. 28 Průběh nabíjení a vybíjení kondenzátoru monostabilního klopného obvodu u nezatíženého měniče



Obr. č. 29 Průběh nabíjení a vybíjení kondenzátoru monostabilního klopného obvodu u měniče se zátěží žárovky 15W



Obr. č. 30 Průběh nabíjení a vybíjení kondenzátoru monostabilního klopného obvodu u měniče se zátěží v podobě lampy

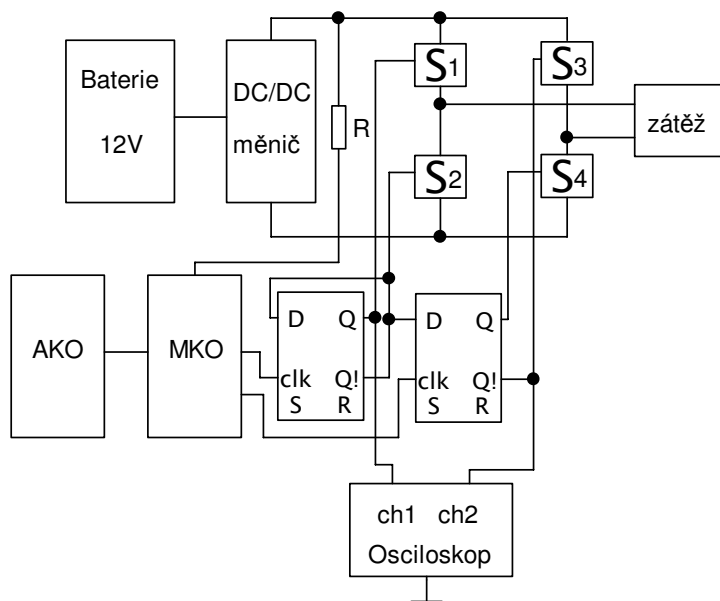


Obr. č. 31 Průběh nabíjení a vybíjení kondenzátoru u astabilního klopného obvodu

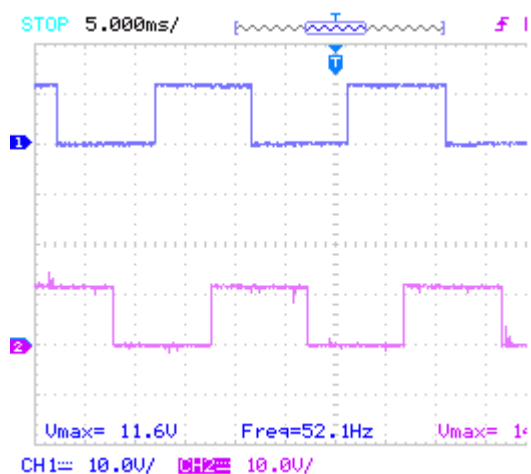
Z průběhů nabíjení a vybíjení kondenzátoru monostabilního klopného obvodu je patrné, že při zvyšování zátěže se sníží napětí, které nabíjí kondenzátor, a tím dojde k prodloužení doby nabíjení.



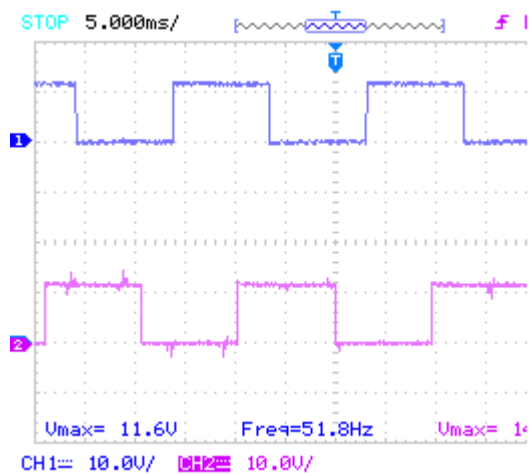
#### 4.4 Měření výstupních pulsů D klopných obvodů, které ovládají spínání tranzistorů střídače $Q_1$ a $\overline{Q_2}$



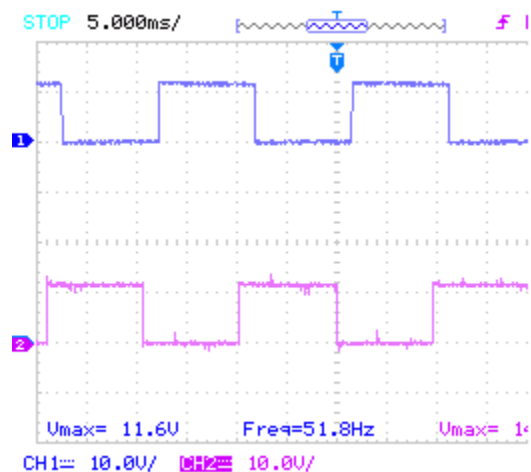
Obr. č. 32 Blokové schéma pro měření průběhů  $Q_1$  a  $\overline{Q_2}$



Obr. č. 33 Průběh z výstupu D klopných obvodů pro nezatížený měnič

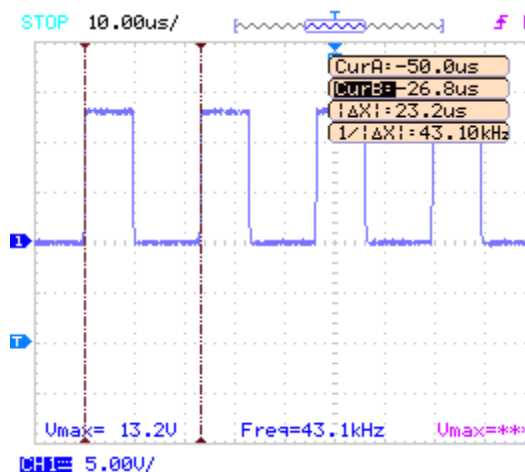


Obr. č. 34 Průběh z výstupu D klopných obvodů pro měnič zatížený 15W žárovkou



Obr. č. 35 Průběh z výstupu D klopných obvodů pro měnič zatížený lampou

#### 4.5 Měření impulsů, které spínají tranzistory dvou-pulzního střídače v DC/DC měniči



Obr. č. 36 Průběh napětí, které spíná tranzistory na primární straně měniče

Z průběhu je patrné, že vstupní stejnosměrné napětí je rozstřídáno na napětí s frekvencí 43kHz.

## 5 Závěr

Hlavním úkolem mojí bakalářské práce bylo analyzovat komerčně dostupné DC/AC měniče. Měniče jsem rozdělil podle toho, na jakém principu pracují. Dále jsem měniče dělil podle tvaru výstupního napětí, podle jejich výkonu a také podle velikosti vstupního napětí. V části práce jsou popsány měniče UPS a jejich základní rozdělení se stručným popisem. V jedné části je popsán měnič, se kterým jsem prováděl měření. Analýzu tohoto měniče jsem prováděl s ohledem na různé typy zatížení. Nedílnou součástí této práce jsou i obrázky konkrétních případů měření. Měření jsem prováděl ve školní laboratoři za pomoci vedoucího bakalářské práce pana docenta Ing. Petra Palackého, Ph.D.

## Seznam použité literatury

- [1] – Měníče DC/AC ( <http://mve.energetika.cz/sikovneruce/menice.htm> )
- [2] – Měníče napětí – střídače Pavel Hnilica ( [www.deramax.cz/menice-napeti/t-115/](http://www.deramax.cz/menice-napeti/t-115/) )
- [3] – Měníč z 12V= na 230V 50Hz ( [www.danyk.wz.cz/menic230.html](http://www.danyk.wz.cz/menic230.html) )
- [4] – Jednoduchý měnič (střídač) 12V= /230V~ 50/60Hz Petr Zavadil 2010  
(<http://gorvin.mysteria.cz/menic/menic.htm> )
- [5] – SINGLE-PHASE INVERTER 12V DC/230V AC CONTROLLED BY DSC Jiří Stejskal  
([http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2010/sbornik/02-Magisterske\\_projekty/04-Silnopruda\\_elektrotechnika\\_a\\_elektroenergetika/08-xstejs15.pdf](http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/2010/sbornik/02-Magisterske_projekty/04-Silnopruda_elektrotechnika_a_elektroenergetika/08-xstejs15.pdf) )
- [6] – Úvod do UPS ( <http://vedomosti.szm.com/otazka03.html> )
- [7] – Akumulátory 23. 11. 2004 ( [http://www.mo-na-ko.net/ruzne\\_acupack.htm](http://www.mo-na-ko.net/ruzne_acupack.htm) )
- [8] – KA3525A ( <http://www.fairchildsemi.com/ds/KA/KA3525A.pdf> )
- [9] – IRF740  
(<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXusxqs.pdf>)